

**Т. В. Емельянова<sup>1\*</sup>, В. И. Грызунов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ОА «МК ОРМЕТО-ЮУМЗ», г. Орск

<sup>2</sup> Орский гуманитарно-технологический институт (филиал ФГБОУ ВО ОГУ), г. Орск

\* *tatyana.emelyanova.90@mail.ru*,

Научный руководитель – проф., д-р хим. наук В. И. Грызунов

## ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЕ БОРИРОВАНИЕ КАК МЕТОД УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Исследовано влияние термоциклической обработки на структуру и свойства боридного слоя. Установлено значительное повышение микротвёрдости и износостойкости. Металлографическими методами определена глубина боридного слоя, его структура.

*Ключевые слова:* штамповая сталь, борирование, температура, слой, микротвёрдость, износостойкость, диффузия, термоциклирование.

***T. V. Emelyanova, V. I. Gryzunov***

## THERMOCYCLIC BORONOVANII AS A METHOD OF SURFACE HARDENING OF DIE STEELS TOOL

The influence of thermocyclic treatment on the structure and properties of boride layer. A significant increase in microhardness and wear resistance. Metallographic methods defined by the depth of the boride layer.

*Keywords:* die steel, boronovanii, temperature, layer, microhardness, wear resistance, diffusion, thermocyclic treatment.

Эффективность процесса борирования можно повысить при совмещении его с термоциклированием. Термоциклическая обработка представляет собой весьма перспективное, но достаточно сложное направление в термической обработке, так как все режимы разрабатываются экспериментально.

Суть ТЦО заключается в многократном повторении нагревов и охлаждений при термической обработке сплавов, при этом факторами, оказывающими влияния на структуру металла, являются: количество циклов, интервал термоциклирования (разница между верхней и нижней температурами цикла), наличие и отсутствие выдержек [1–3].

Цель настоящей работы – оценка эффективности применения процесса борирования, совмещённого с термоциклической обработкой, для упрочнения сталей, предназначенных для изготовления штампового инструмента.

Борирование проводилось в смеси, состоящей из глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – 36 % + хлористого аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) – 4 % + карбида бора ( $\text{B}_4\text{C}$ ) – 60 %. Обработка проводилась на штамповой стали 5ХНМ по режимам, представленным в табл. 1.

В связи с недостаточной изученностью и противоречивым пониманием взаимного влияния различных параметров термоциклирования, режимы ХТЦО выбирались преимущественно эмпирическим путём. Верхний и нижний температурные пределы определялись на основе создания температурных условий для диффузионного насыщения с целью достижения необходимой толщины слоя.

Анализ литературных данных [2, 3] показал, что рекомендуемое количество циклов при ХТЦО – не более пяти. Большее количество циклов требуется чаще всего при необходимости измельчения зерна и ликвидации цементитной сетки в эвтектоидных сталях. Время термоциклического борирования менялось в зависимости от режима от 1 часа 45 минут до 3 часов 45 минут. Время, затраченное на перекладывание контейнера из одной печи в другую и на охлаждение после последнего высокотемпературного нагрева, не учитывалось. Скорость нагрева и охлаждения составляла  $14\text{ }^\circ\text{C/ч}$  (при  $t_{\min} = 740\text{ }^\circ\text{C}$ ) и  $17\text{ }^\circ\text{C/ч}$  (при  $t_{\min} = 700\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Таблица 1

Режимы ХТЦО

| № опыта | Максимальная температура в цикле, $^\circ\text{C}$ | Минимальная температура в цикле | Время выдержки при максимальной температуре, в минутах | Время выдержки при минимальной температуре, в минутах | Число циклов | Общее время процесса, мин |
|---------|--|---------------------------------|--|---|--------------|---------------------------|
| 1       | 950  | 740                             | 30   | 5   | 5            | 175                       |
| 2       |  | 700                             | 50   | 5   | 5            | 275                       |
| 3       |  | 740                             | 50   | 5   | 3            | 165                       |
| 4       |  | 700                             | 30   | 5   | 3            | 105                       |
| 5       |  | 740                             | 30   | 15  | 5            | 225                       |
| 6       |  | 700                             | 30   | 15  | 5            | 225                       |
| 7       |  | 740                             | 50   | 15  | 3            | 195                       |
| 8       |  | 700                             | 50   | 15  | 3            | 195                       |
| 9       |  | 720                             | 40   | 10  | 4            | 200                       |

Результаты проведённых режимов отображены в табл. 2. Данные получены по результатам не менее пяти замеров толщины слоя и его микротвёрдости на трёх образцах при каждом режиме. Испытанию на износ подвергались также три образца с каждого режима.

Таблица 2

Влияние термоциклирования при борировании на глубину диффузионного слоя, его микротвёрдость и износостойкость

| № опыта | Средняя глубина упрочнённого слоя, мкм | Средняя микротвёрдость упрочнённого слоя, МПа | Средний износ по массе, мг | Средний линейный износ, мкм | Линейный износ, % |
|---------|--|---|----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 1       | 180                                    | 14800   | 0,290                      | 0,16                        | 0,089             |
| 2       | 148                                    | 13130   | 0,295                      | 0,11                        | 0,074             |
| 3       | 185                                    | 12200   | 0,318                      | 0,18                        | 0,097             |
| 4       | 162                                    | 17330   | 0,197                      | 0,15                        | 0,093             |
| 5       | 205                                    | 16150   | 0,215                      | 0,19                        | 0,093             |
| 6       | 195                                    | 15200   | 0,285                      | 0,17                        | 0,087             |
| 7       | 210                                    | 18400   | 0,205                      | 0,14                        | 0,067             |
| 8       | 185                                    | 15850   | 0,254                      | 0,14                        | 0,076             |
| 9       | 195                                    | 14050   | 0,238                      | 0,16                        | 0,082             |

Выявлено, что наиболее оптимальным режимом термоциклического борирования является режим № 7, так как после его проведения получен упрочнённый слой с наибольшей глубиной, микротвёрдостью и наименьшим износом.

Для сравнения было проведено борирование традиционным способом (изотермическое) при температуре 950 °С в течение 3 часов. При этом борирование образцов проводилось в той же насыщающей среде, что и ХТЦО. Глубина слоя, полученного традиционным способом 120–140 мкм, микротвёрдость 11200 МПа, износ по массе 0,431 мг.

Полученные микроструктуры (рис. 1), свидетельствуют о том, что слои исследуемых сталей 4Х5МФС и 5ХНМ практически лишены игольчатого строения, характерного для низколегированных сталей на основе железа. Вполне вероятно, что наличие молибдена и хрома в сталях в виде различных карбидов способствует торможению продольного роста слоя, утолщению и округлению игл боридной фазы. Эти элементы не образуют собственных боридов, а легируют бориды железа. В зависимости от характера взаимодействия их с боридами железа происходит перераспределение в процессе формирования поверхностного слоя.

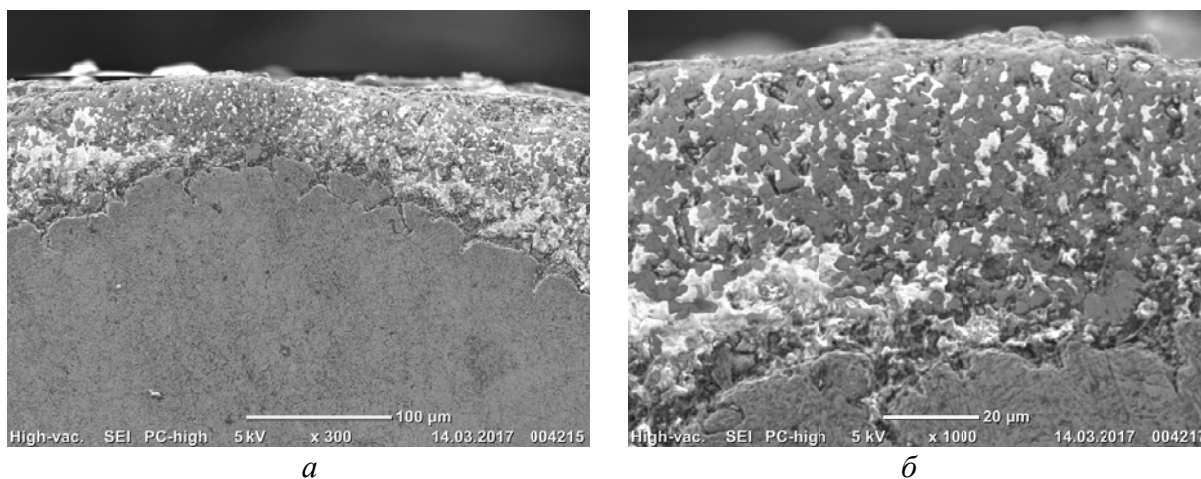


Рис. 1. Микроструктура упрочнённого слоя, образовавшегося на стали 4Х5МФС после борирования при 950 °С с продолжительностью насыщения 3 часа: а –  $\times 300$ ; б –  $\times 1000$

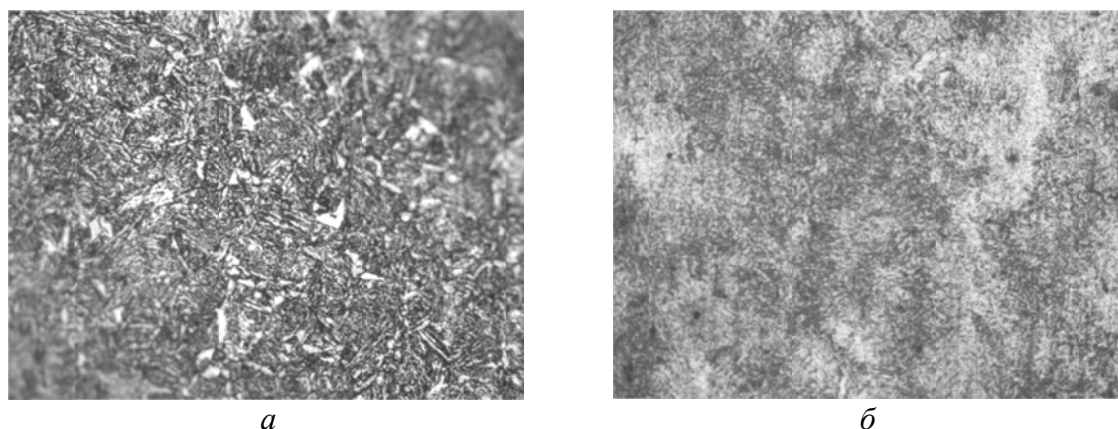


Рис. 2. Структура поверхностного слоя стали 5ХНМ: а – после изотермического борирования; б – после ХТЦО,  $\times 100$

На рисунке 2 приведена микроструктура поверхностного слоя стали 5ХНМ. Её анализ показывает, что ТЦО способствовала не только повышению глубины слоя, но и повышению его качества (меньшее количество пор, включений и разрывов в слое), что можно объяснить увеличением интенсивности диффузии бора и перераспределением примесей в процессе полиморфного превращения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Г. В. Борисенок [и др.]. Москва : Металлургия, 1981. 424 с.
2. Федюкин В. К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В. К. Федюкин, М. Е. Смагоринский. Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. 255 с.
3. Упрочнение поверхностных слоёв штамповых сталей борированием / Т. В. Емельянова [и др.] // Упрочняющие технологии и покрытия. 2017. № 1. С. 40–44.